Clausura de instalaciones nucleares del Departamento de Energía (DOE) de los Estados Unidos

por Edward G. Delaney

"Le interesará conocer que el navegante italiano acaba de tocar tierra en el nuevo mundo."

Este es el mensaje en clave que Karl Compton transmitió por teléfono a James Conant el día en que Enrico Fermi logró la primera reacción nuclear en cadena autosostenida en la pila de grafito de Stagg Field, Chicago, el 2 de diciembre de 1942.

Durante los 25 años siguientes se construyó un gran número de instalaciones para llevar a cabo estos experimentos y demostraciones, incluidos reactores de ensayo, reactores de potencia de demostración, instalaciones para la fabricación de combustible, instalaciones para la separación y fabricación de radisótopos e instalaciones de ensayo de la propulsión nuclear. Además, se construyeron instalaciones para producir materiales nucleares fisionables y de fusión, incluidas las de extracción, trituración, enriquecimiento y tratamiento de uranio, así como las de producción de plutonio y tritio.

La mayor parte de los desechos radiactivos originados por todas estas actividades se vertió en instalaciones para la evacuación a poca profundidad, salvo en el caso de algunos desechos de actividad intermedia, que se inyectaron en formaciones profundas del subsuelo que habían sido hidrofracturadas.

Las actividades de clausura en el pasado

En el decenio de 1960, el organismo oficial de los Estados Unidos responsable de las actividades de energía nuclear –la Comisión de Energía Atómica (AEC)– reconoció la necesidad de clausurar en algún momento las instalaciones de modo que pudiesen ser utilizadas de nuevo en otras labores nucleares, o almacenadas en condiciones de seguridad de forma tal que no constituyesen en esencia un riesgo para el público, o descontaminadas lo suficiente como para permitir que se liberaran para uso sin restricciones (o sea, sin preocupaciones por la radiactividad remanente).

La AEC comenzó a desarrollar técnicas para la descontaminación de algunas instalaciones con miras a utilizarlas de nuevo o darles un uso sin restricciones, así como métodos para el almacenamiento de las instalaciones en condiciones de seguridad cuando la descontaminación no fuera una de las opciones preferidas. preferidas. En el cuadro de la página 32 aparece un resumen de algunas de las instalaciones clausuradas en este período inicial.

Se desarrollaron técnicas para 1) almacenar instalaciones en condiciones de seguridad por períodos prolongados con vigilancia y mantenimiento moderados (la Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos (NRC) da el nombre de SAFSTOR a la condición final de la instalación, y el OIEA el de Etapa 1); 2) almacenar instalaciones en condiciones de seguridad durante cientos de años con muy poca vigilancia y mantenimiento (la denominada ENTOMB o Etapa 2); y 3) la descontaminación y el desmantelamiento de instalaciones, de manera que puedan liberarse para su utilización sin restricciones (la denominada DECON o Etapa 3).

En estos primeros proyectos de clausura se logró un desarrollo sustancial de la tecnología. La tecnología desarrollada por los proyectos de la AEC, así como por algunos proyectos importantes de otros países, proporcionan una base para la labor actual de clausura.

Programa actual y futuro

En 1977, la Agencia para las Investigaciones y el Desarrollo de la Energía (ERDA), sucesora de la AEC, llevó a cabo un inventario de las instalaciones contaminadas con radiactividad que no se encuentran en explotación y elaboró un programa para clausurar adecuadamente estas instalaciones "excedentes". En el Programa de Gestión de Instalaciones Excedentes (Surplus Facilities Management Program (SFMP)) se incluyeron unas 500 instalaciones. El Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE), sucesor de la ERDA, continúa llevando a cabo el programa. Las 348 instalaciones que incluye en la actualidad se dividen en las categorías de "civiles" (114 instalaciones) y de "defensa" (234 instalaciones).

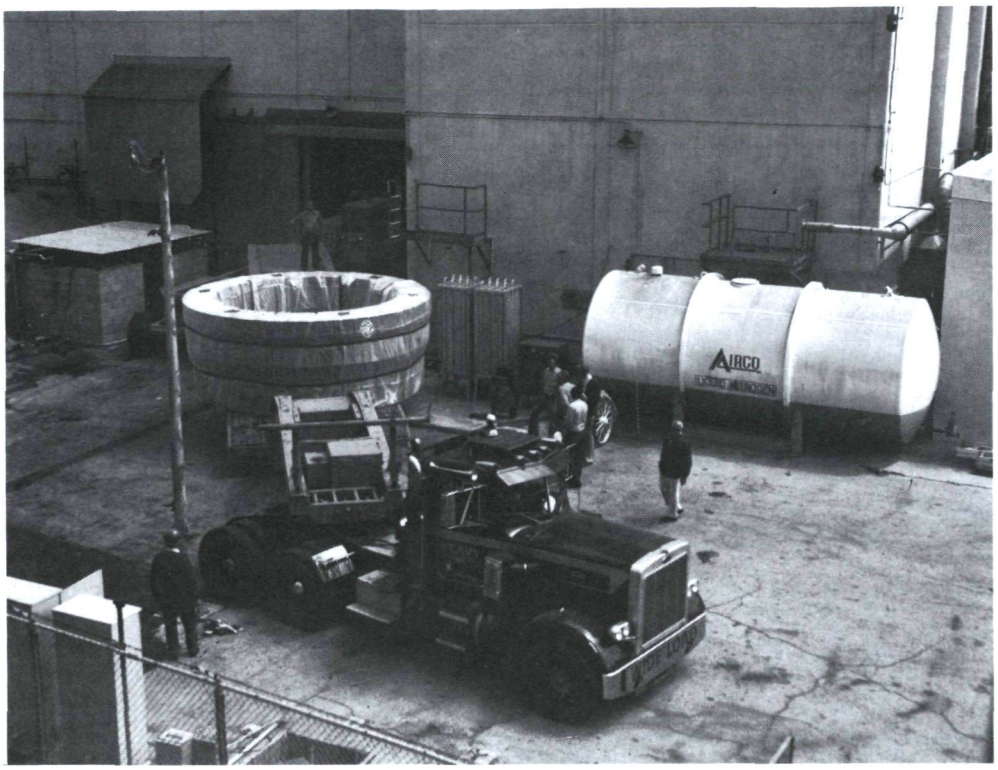
Los objetivos del SFMP son los siguientes:

- Manipular y evacuar en condiciones de seguridad el inventario de instalaciones excedentes de conformidad con las prioridades existentes
- Elevar al máximo la reutilización de las instalaciones
- Hacer el máximo uso de las técnicas de clausura más modernas
- Transferir la tecnología de clausura a la industria de los Estados Unidos y colaborar con los otros programas de clausura tanto nacionales como internacionales.

La gestión en condiciones de seguridad de las instalaciones excedentes del DOE se logra mediante la evacuación del combustible, los líquidos radiactivos, los líquidos inflamables y presurizados y otros materiales que pueden ocasionar fugas o escapes de energía; la realización del mantenimiento necesario a fin de garantizar la integridad de la instalación; y la vigilancia de la instalación y del medio circundante.

Las prioridades para la evacuación de las instalaciones excedentes se determinan mediante el examen de

El Sr. Delaney es Director de la División de Proyectos de Clausura de Instalaciones y Emplazamientos, Oficina de Energía Nuclear, Departamento de Energía de los Estados Unidos, Washington, D.C.



Parte del reactor de la instalación SRE (Sodium Reactor Experiment), en California, lista para ser enviada para su enterramiento. La instalación SRE fue desmantelada, terminándose los trabajos en 1982. (Cortesia: Rockwell International)

los factores de la instalación y la asignación de un orden, por lo general de acuerdo con la jerarquía siguiente: requisitos de carácter jurídico y contractual del DOE; riesgos sanitarios de la evacuación demorada; repercusión económica de la evacuación inmediata en contraposición con la demorada; planes futuros relativos al emplazamiento de la instalación; gestión del programa eficaz en función de los costos (por ejemplo, el mantenimiento de la continuidad de las labores de clausura en el emplazamiento); otros factores especiales, tales como la posible reutilización de la instalación.

El estado actual de los conocimientos de la tecnología de clausura suele ser adecuado para las operaciones de evacuación de estas instalaciones del DOE. Se emplean técnicas y equipos disponibles de la industria y los laboratorios del DOE. Estas técnicas y equipos se adaptan de otros usos, como las operaciones de mantenimiento de las centrales nucleares y la manipulación de materiales peligrosos. Se realiza poca labor de investigación y desarrollo, y por lo general de modo especial para un proyecto dado.

La transferencia de tecnología a la industria se realiza mediante la concertación de contratos con ésta para dirigir los proyectos de evacuación de instalaciones, la elaboración y publicación de informes técnicos acerca de los proyectos y la participación en reuniones técnicas preliminares con la industria. La colaboración internacional y nacional se logra con la participación en las actividades internacionales de clausura y a través de intercambios con otros proyectos nacionales en esa esfera, por lo general mediante acuerdos de intercambio bilateral.

Las 348 instalaciones comprendidas en el SFMP se han agrupado en 74 proyectos para fines de planificación y ejecución. En los cuadros adjuntos se ofrecen detalles de algunos de estos importantes proyectos. La planificación general del SFMP prevé la conclusión de los proyectos en el primer decenio del próximo siglo, a un costo total de más de 1500 millones de dólares de los Estados Unidos.

A continuación se ofrece una breve descripción de tres proyectos.

Proyecto de la central de Shippingport

La central nucleoeléctrica de Shippingport consiste en un reactor de agua a presión de 72 megavatios eléctricos (MW(e)) que entró en funcionamiento en 1957 y se paró en 1982. Había producido más de 7,2 teravatios/hora de electricidad con tres núcleos. El DOE se dispone a desmantelar las partes nucleares de la central a partir de septiembre de 1985 para finalizar en enero de 1990. El costo total estimado del proyecto es de 98,3 millones de dolares de los Estados Unidos, y hasta septiembre de 1985 se han gastado unos 19 millones de dólares de los Estados Unidos.

En septiembre de 1984, el contratista de las operaciones de clausura, General Electric, sustituyó en el emplazamiento al contratista que explotaba la instalación, tras haber evacuado todo el combustible. El año pasado, el contratista de las operaciones de clausura llevó a cabo la vigilancia y el mantenimiento de la central, las actividades de movilización y capacitación del personal, la preparación del plan de solicitudes ofertas para las adjudicaciones a los subcontratistas, el desarrollo de planes y procedimientos de trabajo pormenorizados y las modificaciones del emplazamiento necesarias para desmantelarla.

Se han iniciado los trabajos de eliminación de todo el asbesto de las tuberías y los equipos. El próximo año comenzarán los trabajos de extracción de las tuberías, descontaminación y eliminación de los equipos, de los componentes del sistema primario y de los sistemas de energía y control. En 1987, se dará inicio a la eliminación del hormigón y las estructuras. La eliminación de las cámaras de contención comenzará en 1988 y la vasija del reactor se eliminará en 1989.

Algunas experiencias de los Estados Unidos en materia de proyectos de clausura

Nombre y ubicación de la instalación	Tipo de instalación	Capacidad	Tipo de D/C	Fecha	Experiencia
Reactores					
Carolina/Virginia Tube Reactor (CVTR) (Parr, Carolina del Sur)	HWR	65 MW(t)	Etapa 1	1968	Desarrollo de procedimientos básicos para la Etapa 1; vigilancia periódica.
Pathfinder (Sioux Falls, Dakota del Sur)	BWR con sobrecalentamiento nuclear	190 MW(t)	Etapa 1 para BWR con conversión de la instalación para otros usos	1972	Aislamiento de una planta de vapor y sustitución de un reactor nuclear por una caldera alimentada con combustible fósil; vigilancia permanente.
Saxton (Saxton, Pensilvania)	PWR	23,5 MW(t)	Etapa 1	1973	Alarmas de intrusión de control a distancia con fines de seguridad para reducir al mínimo el personal necesario.
Fermi I (Condado de Monroe, Michigan)	FBR	200 MW(t)	Etapa 1	1975	Experiencia en la manipulación de sodio para la Etapa 1.
Peach Bottom I (Condado de York, Pensilvania)	GCR	115 MW(t)	Etapa 1	1978	Manipulación y evacuación del combustible de grafito del núcleo.
Hallam (Hallam, Nebraska)	Moderado por grafito, refrigerado con sodio	256 MW(t)	Etapa 2	1968	Desarrollo de procedimientos para la Etapa 2; sin vigilancia permanente.
Piqua Reactor (Piqua, Ohio)	Refrigerado y moderado con gas orgánico	45 MW(t)	Etapa 2	1970	Enterramiento con conversión del edificio del reactor en almacén; enterramiento de la vasija del reactor en arena; sin vigilancia permanente.
Boiling Nuclear Superheat Reactor (BONUS) (Rincón, Puerto Rico)	BWR	50 MW(t)	Etapa 2	1970	Enterramiento de la vasija en hormigón; descontaminación de sistemas; liberación del emplazamiento para que se utilice como centro de exposiciones; sin vigilancia permanente.
Elk River Reactor (ERR) (Elk River, Minnesota)	BWR, sobrecalentador alimentado con combustible fósil	58 MW(t)	Etapa 3	1974	Fragmentación a distancia de la vasija y los componentes internos; demolición del hormigón mediante explosivos; examen y liberación del emplazamiento para su utilización sin restricciones.
Instalaciones del ciclo del combustible					
Redox (Hanford, Washington)	Planta de reelaboración	Volumen de producción	Etapa 1	1967	Programa de recuperación de plutonio con empleo de varios lavados. Escurrimiento y secado al aire del sistema. Lavado externo a chorro del equipo, las celdas y la plataforma; cierre de entradas.

Notas: MW(t) = megavatios térmicos
HWR = reactor de agua pesada
BWR = reactor de agua en ebullición
PWR = reactor de agua a presión
GCR = reactor refrigerado por gas, moderado por grafito
D/C = descontaminación y clausura.

Entre las características técnicas del proyecto se incluyen:

- Eliminación de la vasija del reactor y del tanque de blindaje neutrónico que la rodea como unidad única con un peso de más de 770 toneladas con el blindaje de hormigón y los accesorios de izaje. La vasija del reactor se transportará por barco desde Shippingport hasta Hanford, Washington, para enterrarla a poca profundidad.
- Los cuatro generadores de vapor se enviarán por barco a Hanford en forma de unidades, sin embalaje. En el envío se incluirán otros componentes radiactivos.

Algunos proyectos de clausura concluidos en virtud del SFMP

Nombre y ubicación de la instalación	Tipo de instalación	Tipo de clausura	Año de terminación
Reactores			
Los Alamos Molten Plutonium Reactor Experiment, Nuevo México	Reactor de plutonio fundido	Desmantelamiento (Etapa 3)	1980
Organic-Moderated Reactor Experiment, Ohio	Reactor moderado por gas orgánico	Desmantelamiento (Etapa 3)	1980
Special Power Excursion Reactor Test II, III, IV, Idaho	Reactores de ensayo de las condiciones de seguridad	Desmantelamiento (Etapa 3)	1980
Sodium Reactor Experiment Facility, California	Reactor de sodio-grafito	Desmantelamiento (Etapa 3)	1982
Instalaciones del ciclo del combustible			
Monticello Mill Site, Utah	Molienda de mineral de uranio	Desmantelamiento (emplazamiento de carácter restringido)	1979
Advanced Fuel Laboratory, California	Fabricación de combustible de plutonio	Desmantelamiento (Etapa 3)	1982
Plutonium Fuel Fabrication Facility, Pensilvania	Fabricación de combustible de plutonio	Desmantelamiento (Etapa 3)	1982
Building 350, ANL, Illinois	Fabricación de combustible de plutonio	Desmantelamiento (Etapa 3)	1982

Nota: SFMP = Programa de Gestión de Instalaciones Excedentes.

- No se realizará descontaminación alguna del sistema primario. Algunos materiales se descontaminarán para su evacuación como desechos o residuos ordinarios.
- No se evacuarán las estructuras subterráneas de hormigón que se encuentran a más de tres pies (0,9 metros) de profundidad. El emplazamiento se rellenará con escombros y tierra limpios y se nivelará adecuadamente.

Proyecto del Mound Laboratory

Desde finales del decenio de 1960 hasta finales de 1970, en el Mound Laboratory de Miamisburg, Ohio, se fabricaron fuentes térmicas de radisótopos alimentadas con plutonio 238. Estas fuentes térmicas se emplearon para suministrar energía en muchas aplicaciones en el espacio ultraterrestre.

El Departamento de Energía de los Estados Unidos tomó la decisión de clausurar las instalaciones porque no satisfacían las normas actuales de diseño para el tratamiento de plutonio. A este fin, la Monsanto Research Corporation, entidad que explota las instalaciones, inició en 1978 un proyecto que se espera habrá de concluir en 1988 a un costo total estimado de 69 millones de dólares de los Estados Unidos.

Se están evacuando instalaciones para la fabricación de plutonio y la manipulación de desechos en tres edificios compuestos por unos 1100 pies lineales (335,3 metros) de cajas de guantes, 900 pies (274,3 metros) de columnas de transportadores, y equipos de tuberías y estructuras conexos. Los salones se están descontaminando lo suficiente para permitir el acceso del personal sin ropas de protección.

Además, se están evacuando alrededor de 2600 pies (792,5 metros) de líneas subterráneas dobles de desechos líquidos y el suelo contaminado que las rodea. Se han evacuado aproximadamente 30 000 curios de plutonio 238 en desechos y residuos. Estos desechos se remitieron al Idaho National Engineering Laboratory para su almacenamiento.

Como resultado de esta labor, se ha obtenido amplia y valiosa experiencia en las técnicas de control de la exposición de los trabajadores, el control de la contaminación, la descontaminación, la evacuación de equipos, la descontaminación estructural y el embalaje de desechos. Esta experiencia puede aprovecharse en las actividades de clausura de otras instalaciones del ciclo del combustible.

Proyecto de Weldon Spring

En el período de 1955 a 1957, la Comisión de Energía Atómica (AEC) construyó una gran planta química en Weldon Spring, Missouri, para el tratamiento de concentrados de mineral de uranio a fin de convertirlos en productos químicos intermedios de uranio y, por último, en uranio metálico. También se trataron concentrados de mineral de torio para convertirlos en otras formas químicas. Los residuos de este tratamiento se vertieron en cuatro pozos de evacuación de grandes dimensiones. La central abarca unas 70 hectáreas y los pozos de evacuación unas 21 hectáreas.

Durante la explotación de la central, los edificios, los equipos, los terrenos inmediatos, el sistema de alcantarillas del proceso y la zona de drenaje se contaminaron con uranio, torio y sus productos de desintegración. Además, una cantera aledaña que se encontraba ya en desuso se contaminó con los residuos y los escombros que en ella se vertieron.

El Departamento de Energía elaboró un proyecto para realizar la limpieza de la cantera, las propiedades contaminadas que rodean la instalación química y la propia instalación, a cuya descontaminación y demolición se procederá. Se estima que los desechos radiactivos producto de estas operaciones excederán los 600 000 metros cúbicos y que deberan tratarse y

Algunos proyectos principales del Programa de Gestión de Instalaciones Excedentes del DOE

Proyecto/Ubicación	Tipo de instalación	Plan para la clausura*	Período	Costo estimado**
Mound Lab Advanced Nuclear and Space Power Facilities (Miamisburg, Ohio)	Instalaciones para la fabricación de plutonio 238, instalaciones para el traslado y la manipulación de desechos.	Eliminación de los equipos de fabricación de plutonio, descontaminación de las estructuras para permitir su ocupación y reutilización. Eliminación de las instalaciones para el traslado y la manipulación de desechos. Envío de todos los desechos producidos por la clausura al Idaho National Engineering Laboratory.	1978–1988	69
Niagara Falls Storage Site (Lewiston, Nueva York)	Instalación de almacenamiento de los residuos del tratamiento de uranio y los desechos que presentan radiactividad.	Limpieza de las zonas contaminadas que circundan el lugar de almacenamiento; limpieza y consolidación de residuos y desechos en el lugar y su traslado a una instalación para el enterramiento a poca profundidad.	1981–1986 (Etapa 1), 1995–1996 (Etapa 2)	51
Monticello Mill Site (Monticello, Utah)	Emplazamiento de almacenamiento de las colas de tratamiento del mineral de uranio.	Limpieza de las zonas contaminadas que rodean el lugar de almacenamiento; modificación del drenaje de las aguas superficiales y subterráneas; enterramiento de las colas en el lugar.	1987–1994	35
Shippingport Atomic Power Station (Shippingport, Pensilvania)	Reactor de agua a presión con una capacidad de 72 MW(e) de potencia.	Desmantelamiento de las partes nucleares de la central; envío de la vasija del reactor intacta y de otros componentes fundamentales a Hanford, Washington, para su enterramiento a poca profundidad.	1985–1990	98
Weldon Spring Site Remedial Action Project (Weldon Spring, Missouri)	Instalación para el tratamiento de uranio y torio a fin de convertir los concentrados de la trituración a la forma metálica.	Limpieza de las zonas contaminadas cercanas a la central, incluida una cantera; desmantelamiento de una planta de tratamiento de uranio de grandes dimensiones; enterramiento de los desechos en el lugar.	1987–1996	357
Experimental Boiling Water Reactor (Argonne, Illinois)	Reactor de agua en ebullición con una capacidad de 100 MW térmicos de potencia.	Descontaminación y eliminación de todo el material radiactivo de la vasija de contención de manera que permita su utilización sin restricciones para otros fines.	1987–1995	22
Heavy-Water Components Test Reactor (Savannah River, Carolina del Sur)	Reactor moderado con agua pesada, alimentado con combustible de uranio.	Desmantelamiento del reactor y enterramiento a poca profundidad de componentes y desechos.	1988–1993	15
Homogeneous Reactor Experiment (Oak Ridge, Tennessee)	Reactor de agua ligera y solución de uranio.	Desmantelamiento del reactor y enterramiento a poca profundidad de componentes y desechos.	1989–1997	25
Molten-Salt Reactor Experiment (Oak Ridge, Tennessee)	Reactor de combustible de uranio 233 en sales de fluoruro.	Tratamiento de sales combustibles hasta que adopten una forma estable, evacuación del combustible estabilizado; desmantelamiento del reactor y evacuación de los desechos.	1992–2001	68

* *Sujeto a la conclusión del estudio del medio ambiente respecto de cada proyecto.*
** Estimado en millones de dólares de los Estados Unidos.

evacuarse más de 80 millones de galones (cerca de 302 millones de litros) de agua contaminada. Se ha previsto que el proyecto comience en 1987 y concluya en 1996 a un costo de 357 millones de dólares de los Estados Unidos.

Una experiencia que resultará valiosa

En resumen, las actividades de investigación, desarrollo y producción nuclear de los organismos oficiales de los Estados Unidos han dado origen a muchos cientos de instalaciones con contaminación radiactiva. El costo de las actividades de clausura de estas instalaciones será muy alto. El Departamento de Energía ha puesto en marcha un intenso programa para mantener estas instalaciones en condiciones de seguridad y clausurarlas de manera de proteger al público y al medio ambiente a largo plazo. Este programa está permitiendo una valiosa experiencia que se espera sea de utilidad para la clausura de instalaciones nucleares comerciales.